

Evaluation of discomfort Index UGR for indoor lighting installations

Assoc. Prof. D-r Gueorgui Dikanarov

Оценка на показателя на дискомфорт UGR във вътрешните осветителни уредби

Георги Диканаров

Abstract:

In the paper are discussed the possibilities for evaluation of the UGR index by using the methods, approved by CIE: the individual and the integral methods (UGR table method and the UGR curve method). The advantages and the disadvantages of these methods are specified, as well their most appropriate application field. In the paper is presented a table method for the evaluation of UGR index. That method is applied for luminaires with luminous distribution curve which could be approximated with the equation $I_{\alpha} = I_0 \cos^m \alpha$ (for $m = 1; 1.43; 2$ and 3). The offered method gives the possibility to estimate the error for the given application field.

Голямото разнообразие в методите за оценка на дискомфорта използвани в различните страни, бързото развитие на светлинните източници и осветителните тела създава определени трудности свързани със съпоставимостта и точността на получаваните резултати, поради което в последните години в МКО се работи изключително активно по създаването на единен метод за оценка на дискомфорта. След обширни проучвания и изследвания през 1995г. беше приет Технически доклад, в който за определяне на показателя на дискомфорт **UGR (Unified Glare Rating)** е приет предложението от К.Сьоренсен опростен израз

$$UGR = 8 \lg \left(\frac{0,25}{L_b} \dot{a} \frac{L^2 w}{p^2} \right), \quad (1)$$

където L_b е яркостта на адаптация, cd/m^2 ;

L - яркостта на осветителя в посока към очите на наблюдателя, cd/m^2 ;

w - пространственият ъгъл, под който наблюдателя вижда светещата част на осветителя, sr ;

p - позиционният фактор на Гът, който отчита местоположението на осветителя в зрителното поле на наблюдателя.

Константите във формулата са избрани, така че стойностите в средната област на препоръчаните степени на **UGR (10, 13, 16, 19, 22, 25, 28)** да съответстват на получените по формулата на Р.Хопкинсон (GI), като в граничните области могат да възникнат отклонения до **2 единици**. В осветителни уредби с **UGR < 10** няма дискомфорт.

Формулата за **UGR** е приложима за $w = 0,0003$, $0,1 sr$.

Поради голямата трудоемкост при изчисленията на показателя на дискомфорт **UGR** по формулата, препоръчва се тя да се прилага при използване на ЕИТ и в специални случаи, например, при едновременно използване на осветители с различни светлоразпределителни криви. За всички обикновени осветителни уредби по-удобна е разработената система от таблици, а за бърза приблизителна оценка се препоръчва използването на подготвените за целта *гранични яркостни криви*.

Предлагат се две версии на таблиците:

п “пълните” таблици за стойностите на **UGR** са значителни по обем, но изискват не голям брой коригиращи коефициенти;

п “съкратените” таблици за **UGR**, обратно малки са по обем, но изискват голям брой коригиращи коефициенти.

Таблица 1 е пример за “пълна” таблица за осветител **..901.209** съставена с помощта на ПК. В главната (горната) част на таблицата се съдържат така наречените “некоригирани стойности” на **UGR_{unkor.}**, които се отнасят за светлинен поток на лампите в осветителя **F_л=1000 lm**. Корекцията на стойността на **UGR** за фактическия **F_л** се извършва чрез израза:

Таблица 1. Подробна UGR - таблица за осветител модел - ...901.209

НЕКОРИГИРАНИ UGR - СТОЙНОСТИ ($\Phi_0 = 1000 \text{ lm}$)											
/ несиметричен осветител /											
	ρ_T	0.70	0.70	0.50	0.50	0.30	0.70	0.70	0.50	0.50	0.30
	ρ_C	0.50	0.30	0.50	0.30	0.30	0.50	0.30	0.50	0.30	0.30
	ρ_P	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
х	у	гледано напречно					гледано надлъжно				
2Н	2Н	8.1	9.5	8.4	9.7	10.0	8.9	10.3	9.2	10.5	10.7
	3Н	9.5	10.8	9.9	11.1	11.3	10.7	12.0	11.1	12.3	12.6
	4Н	10.2	11.4	10.5	11.7	11.9	11.6	12.8	11.9	13.1	13.4
	6Н	10.7	11.8	11.1	12.1	12.4	12.3	13.4	12.6	13.7	14.0
	8Н	10.9	12.0	11.3	12.3	12.6	12.5	13.6	12.9	13.9	14.2
	12Н	11.0	12.1	11.4	12.4	12.7	12.7	17.7	13.1	14.1	14.4
4Н	2Н	8.8	10.0	9.2	10.3	10.6	9.4	10.7	9.8	10.9	11.2
	3Н	10.5	11.5	10.9	11.9	12.2	11.5	12.6	11.9	12.9	13.2
	4Н	11.3	12.2	11.7	12.6	12.9	12.5	13.5	12.9	13.8	14.2
	6Н	11.9	12.8	12.4	13.2	13.6	13.3	14.2	13.7	14.5	14.9
	8Н	12.2	13.0	12.6	13.4	13.8	13.6	14.4	14.1	14.8	15.2
	12Н	12.4	13.1	12.8	13.5	14.0	13.9	14.6	14.3	15.0	15.4
8Н	4Н	11.7	12.5	12.1	12.9	13.3	12.8	13.6	13.2	13.9	14.4
	6Н	12.5	13.2	13.0	13.6	14.1	13.7	14.4	14.2	14.8	15.3
	8Н	12.9	13.5	13.3	13.9	14.4	14.1	14.7	14.6	15.2	15.6
	12Н	13.2	13.7	13.7	14.1	14.6	14.5	15.0	15.0	15.4	15.9
12Н	4Н	11.8	12.5	12.2	12.9	13.3	12.8	13.5	13.2	13.9	14.3
	6Н	12.6	13.2	13.1	13.7	14.1	13.8	14.4	14.3	14.8	15.3
	8Н	13.0	13.5	13.5	14.0	14.5	14.3	14.7	14.7	15.2	15.7
Вариации от положението на наблюдателя при интервали:											
S=1.0 x H		+0.1 / -0.1					+0.1 / -0.1				
S=1.5 x H		+0.2 / -0.3					+0.1 / -0.2				
S=2.0 x H		+0.4 / -0.6					+0.3 / -0.3				
Корекции при други осветители от същия тип:											
4 x 20 W: +2.3				4 x 40 W: 0				4 x 65 W: -0.7			

- Мощност на лампите в осветителя - $P_{\text{ло}} = 4 \times 40 \text{ W}$

- Светлинен поток на лампите в осветителя - $\Phi_{\text{л}} = 11200 \text{ lm}$

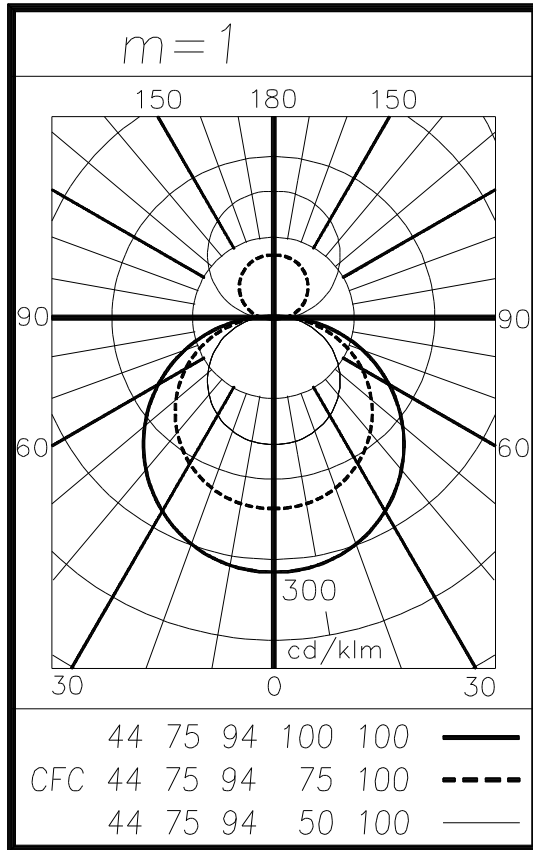
- Поправката за светлинния поток на лампите в осветителя се изчислява по формулата :

$$\Phi_{\text{п}} = 8 \times \lg (\Phi_{\text{л}} / \Phi_0) = + 8.4$$

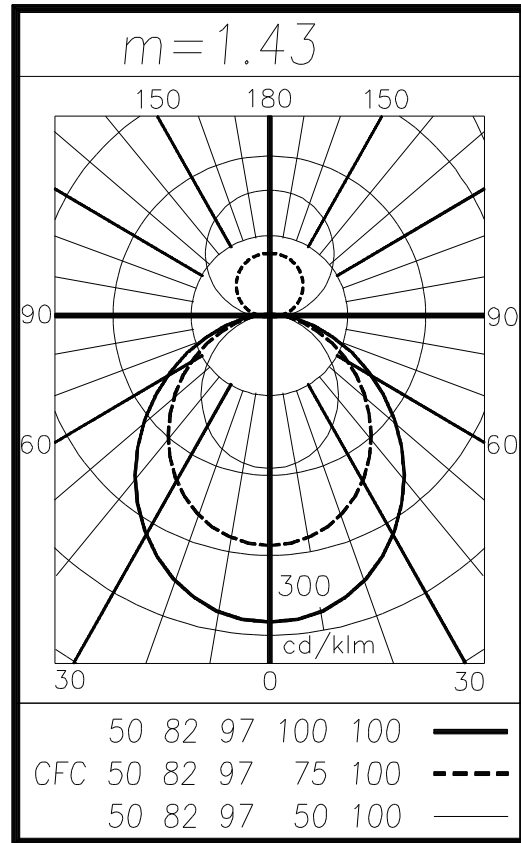
Таблица 2. Некоригирани стойности на показателя на дискомфорт UGR_{unkor} .

m	a/H	b/H	$\Phi_{\text{т}}/\Phi_0=1,0$					$\Phi_{\text{т}}/\Phi_0=0,75$					$\Phi_{\text{т}}/\Phi_0=0,5$				
			Коефициенти на отражение на тавана $\rho_{\text{т}}$, стените $\rho_{\text{с}}$ и пода $\rho_{\text{п}}$														
			0,70	0,70	0,50	0,50	0,30	0,70	0,70	0,50	0,50	0,30	0,70	0,70	0,50	0,50	0,30
0,50	0,30	0,50	0,30	0,30	0,50	0,30	0,50	0,30	0,30	0,50	0,30	0,50	0,30	0,30			
0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20			
1,0	2	2	13,5	14,9	13,8	15,2	15,4	11,0	12,1	11,6	12,7	13,4	7,7	8,6	8,6	9,5	10,6
		3	15,4	16,6	15,7	16,9	17,2	12,8	13,7	13,4	14,4	15,1	9,5	10,2	10,4	11,1	12,3
		4	16,2	17,4	16,5	17,7	17,9	13,6	14,5	14,2	15,1	15,9	10,2	10,9	11,1	11,8	13,0
		6	16,8	18,0	17,2	18,3	18,6	14,2	15,0	14,9	15,7	16,5	10,7	11,4	11,7	12,3	13,5
		8	17,1	18,2	17,5	18,5	18,8	14,4	15,3	15,1	15,9	16,7	10,9	11,5	11,9	12,5	13,7
		12	17,3	18,3	17,7	18,7	19,0	14,6	15,4	15,3	16,1	16,9	11,1	11,7	12,0	12,6	13,8
	4	2	14,3	15,5	14,6	15,8	16,1	11,7	12,6	12,3	13,2	14,0	8,3	9,0	9,3	10,0	11,1
		3	16,3	17,4	16,7	17,7	18,0	13,6	14,4	14,3	15,1	15,9	10,2	10,8	11,2	11,8	13,0
		4	17,3	18,2	17,7	18,6	18,9	14,6	15,3	15,3	16,0	16,8	11,1	11,6	12,1	12,6	13,9
		6	18,1	18,9	18,5	19,3	19,7	15,3	15,9	16,1	16,7	17,6	11,7	12,2	12,7	13,2	14,5
		8	18,4	19,2	18,9	19,6	20,0	15,6	16,2	16,4	16,9	17,8	12,0	12,4	13,0	13,4	14,7
		12	18,7	19,4	19,1	19,8	20,2	15,9	16,4	16,6	17,2	18,1	12,2	12,6	13,2	13,6	14,9
	8	4	17,7	18,4	18,1	18,8	19,2	14,9	15,4	15,6	16,2	17,1	11,4	11,8	12,4	12,8	14,1
		6	18,7	19,3	19,1	19,7	20,2	15,8	16,3	16,6	17,1	18,0	12,1	12,5	13,2	13,5	14,8
		8	19,1	19,7	19,6	20,1	20,6	16,2	16,6	17,0	17,4	18,4	12,5	12,8	13,5	13,8	15,1
		12	19,5	20,0	20,0	20,4	20,9	16,6	16,9	17,4	17,7	18,7	12,8	13,1	13,8	14,1	15,4
	12	4	17,7	18,4	18,2	18,8	19,3	14,9	15,4	15,7	16,2	17,1	11,4	11,7	12,4	12,7	14,0
		6	18,8	19,4	19,3	19,8	20,3	15,9	16,3	16,7	17,1	18,1	12,2	12,5	13,2	13,5	14,8
		8	19,3	19,8	19,8	20,2	20,7	16,4	16,7	17,2	17,5	18,5	12,6	12,8	13,6	13,9	15,2
	Изменения от положението на наблюдателя																
S=1,0*H		+0,1/-0,1					+0,1/-0,1					+0,1/-0,1					
S=1,5*H		+0,2/-0,2					+0,2/-0,2					+0,2/-0,2					
S=2,0*H		+0,3/-0,4					+0,2/-0,4					+0,3/-0,4					
1,43	2	2	13,2	14,5	13,5	14,7	14,9	10,6	11,7	11,3	12,3	13,0	7,4	8,2	8,3	9,1	10,2
		3	14,5	15,7	14,8	16,0	16,2	11,9	12,8	12,6	13,5	14,2	8,6	9,4	9,5	10,3	11,4
		4	15,0	16,1	15,4	16,4	16,7	12,4	13,3	13,1	13,9	14,7	9,1	9,8	10,0	10,7	11,9
		6	15,4	16,4	15,7	16,7	17,0	12,7	13,5	13,4	14,2	15,0	9,4	10,0	10,3	10,9	12,1
		8	15,5	16,5	15,9	16,8	17,1	12,8	13,6	13,5	14,2	15,0	9,5	10,0	10,4	11,0	12,2
		12	15,5	16,5	15,9	16,8	17,1	12,8	13,6	13,5	14,3	15,1	9,5	10,0	10,4	11,0	12,2
	4	2	13,8	14,9	14,1	15,2	15,4	11,2	12,0	11,8	12,7	13,4	7,8	8,5	8,8	9,4	10,6
		3	15,3	16,3	15,7	16,6	16,9	12,6	13,3	13,3	14,0	14,8	9,2	9,8	10,2	10,8	12,0
		4	15,9	16,8	16,3	17,1	17,5	13,2	13,8	13,9	14,6	15,4	9,8	10,3	10,8	11,3	12,5
		6	16,4	17,2	16,8	17,5	17,9	13,6	14,2	14,4	14,9	15,8	10,2	10,6	11,2	11,6	12,9
		8	16,6	17,3	17,0	17,6	18,1	13,7	14,3	14,5	15,0	15,9	10,3	10,7	11,3	11,7	13,0
		12	16,6	17,3	17,1	17,7	18,1	13,8	14,3	14,6	15,0	15,9	10,3	10,7	11,3	11,7	13,0
	8	4	16,2	16,9	16,6	17,3	17,7	13,4	13,9	14,1	14,6	15,5	9,9	10,3	10,9	11,3	12,6
		6	16,8	17,4	17,2	17,8	18,2	13,9	14,3	14,7	15,1	16,0	10,4	10,8	11,4	11,8	13,1
		8	17,0	17,5	17,5	18,0	18,4	14,1	14,5	14,9	15,3	16,2	10,6	10,9	11,6	11,9	13,2
		12	17,1	17,6	17,6	18,0	18,5	14,2	14,5	15,0	15,3	16,3	10,7	10,9	11,7	12,0	13,3
	12	4	16,2	16,8	16,6	17,2	17,7	13,4	13,8	14,1	14,6	15,5	9,9	10,3	10,9	11,3	12,6
		6	16,8	17,3	17,3	17,8	18,3	13,9	14,3	14,7	15,1	16,0	10,4	10,7	11,5	11,7	13,1
		8	17,1	17,5	17,6	18,0	18,5	14,1	14,5	15,0	15,3	16,2	10,6	10,9	11,7	11,9	13,2
	Изменения от положението на наблюдателя																
S=1,0*H		+0,1/-0,1					+0,1/-0,1					+0,1/-0,1					
S=1,5*H		+0,2/-0,4					+0,2/-0,4					+0,2/-0,4					
S=2,0*H		+0,5/-0,7					+0,5/-0,7					+0,5/-0,7					

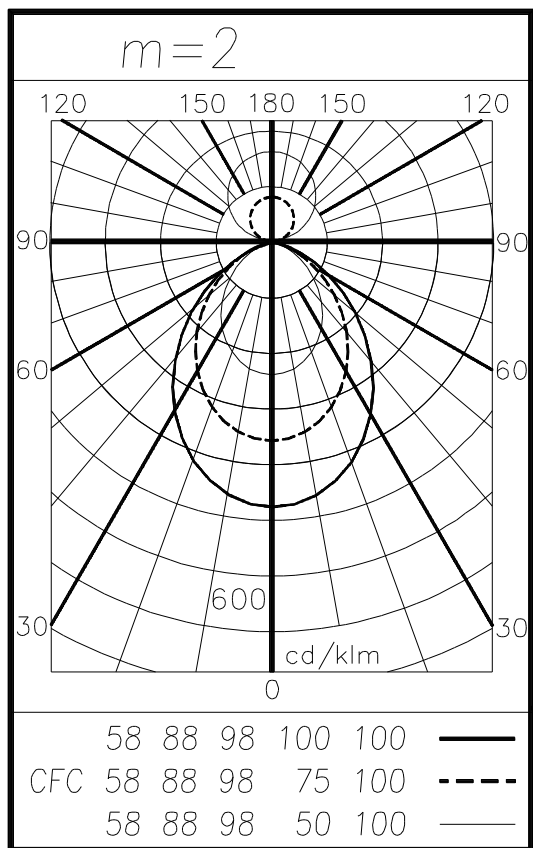
m	a/H	b/H	$\Phi_u/\Phi_o=1,0$					$\Phi_u/\Phi_o=0,75$					$\Phi_u/\Phi_o=0,5$					
			Коефициенти на отражение на тавана ρ_T , стените ρ_C и пода ρ_H															
			0,70	0,70	0,50	0,50	0,30	0,70	0,70	0,50	0,50	0,30	0,70	0,70	0,50	0,50	0,30	
			0,50	0,30	0,50	0,30	0,30	0,50	0,30	0,50	0,30	0,30	0,50	0,30	0,50	0,30	0,30	
			0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20			
2,0	2	2	12,5	13,7	12,8	14,0	14,2	10,0	10,9	10,6	11,5	12,2	6,7	7,5	7,6	8,4	9,5	
		3	13,4	14,4	13,7	14,7	15,0	10,8	11,6	11,4	12,2	13,0	7,5	8,1	8,4	9,0	10,2	
		4	13,6	14,6	13,9	14,9	15,2	11,0	11,8	11,6	12,4	13,2	7,6	8,3	8,6	9,2	10,3	
		6	13,7	14,6	14,0	14,9	15,2	11,0	11,8	11,7	12,4	13,2	7,7	8,2	8,6	9,2	10,4	
		8	13,7	14,6	14,0	14,9	15,2	11,0	11,7	11,7	12,4	13,2	7,6	8,2	8,6	9,1	10,3	
		12	13,7	14,5	14,0	14,9	15,2	11,0	11,6	11,7	12,3	13,1	7,6	8,1	8,5	9,1	10,3	
	4	2	12,9	14,0	13,3	14,2	14,5	10,3	11,1	11,0	11,8	12,5	7,0	7,6	7,9	8,5	9,7	
		3	13,9	14,8	14,3	15,1	15,4	11,2	11,9	11,9	12,6	13,4	7,8	8,4	8,8	9,3	10,5	
		4	14,3	15,0	14,6	15,4	15,7	11,5	12,1	12,2	12,8	13,6	8,1	8,6	9,1	9,5	10,7	
		6	14,4	15,1	14,8	15,5	15,8	11,6	12,1	12,4	12,9	13,7	8,2	8,6	9,1	9,5	10,8	
		8	14,4	15,1	14,9	15,4	15,9	11,6	12,1	12,4	12,8	13,7	8,1	8,5	9,1	9,5	10,8	
		12	14,4	15,0	14,9	15,4	15,8	11,6	12,0	12,4	12,8	13,7	8,1	8,4	9,1	9,4	10,7	
	8	4	14,3	15,0	14,8	15,4	15,8	11,5	12,0	12,3	12,7	13,6	8,0	8,4	9,0	9,4	10,7	
		6	14,5	15,1	15,0	15,5	15,9	11,7	12,1	12,5	12,9	13,8	8,2	8,5	9,2	9,5	10,8	
		8	14,6	15,1	15,1	15,5	16,0	11,7	12,1	12,5	12,8	13,8	8,2	8,4	9,2	9,5	10,8	
		12	14,6	15,0	15,1	15,5	16,0	11,7	12,0	12,5	12,8	13,8	8,1	8,4	9,2	9,4	10,7	
	12	4	14,3	14,9	14,8	15,3	15,7	11,5	11,9	12,3	12,7	13,6	8,0	8,3	9,0	9,3	10,6	
		6	14,5	15,0	15,0	15,4	15,9	11,7	12,0	12,5	12,8	13,7	8,1	8,4	9,1	9,4	10,7	
		8	14,6	15,0	15,1	15,5	16,0	11,7	12,0	12,5	12,8	13,8	8,1	8,4	9,2	9,4	10,7	
	Изменения от положението на наблюдателя																	
	S=1,0*H		+0,2/-0,3					+0,2/-0,3					+0,2/-0,3					
	S=1,5*H		+0,5/-0,9					+0,5/-0,9					+0,4/-0,9					
	S=2,0*H		+1,0/-1,6					+1,0/-1,5					+1,0/-1,5					
	3,0	2	2	11,1	12,2	11,4	12,4	12,6	8,6	9,4	9,2	10,0	10,7	5,3	6,0	6,2	6,9	8,0
3			11,4	12,4	11,7	12,6	12,9	8,8	9,6	9,4	10,2	10,9	5,5	6,1	6,4	7,0	8,1	
4			11,4	12,3	11,7	12,6	12,8	8,7	9,5	9,4	10,1	10,8	5,4	6,0	6,3	6,9	8,1	
6			11,4	12,2	11,7	12,5	12,8	8,7	9,3	9,3	10,0	10,7	5,3	5,9	6,2	6,8	7,9	
8			11,3	12,1	11,7	12,4	12,7	8,6	9,2	9,3	9,9	10,7	5,2	5,8	6,2	6,7	7,9	
12			11,3	12,0	11,6	12,4	12,7	8,5	9,1	9,2	9,8	10,6	5,2	5,7	6,1	6,6	7,8	
4		2	11,3	12,2	11,6	12,5	12,8	8,7	9,4	9,3	10,0	10,8	5,3	5,9	6,2	6,8	8,0	
		3	11,7	12,4	12,0	12,7	13,0	8,9	9,5	9,6	10,2	11,0	5,5	6,0	6,5	7,0	8,2	
		4	11,7	12,4	12,1	12,7	13,1	8,9	9,4	9,6	10,1	11,0	5,5	5,9	6,5	6,9	8,1	
		6	11,6	12,2	12,1	12,6	13,0	8,8	9,3	9,6	10,0	10,9	5,4	5,8	6,4	6,7	8,0	
		8	11,6	12,2	12,0	12,6	13,0	8,8	9,2	9,5	9,9	10,8	5,3	5,7	6,3	6,6	7,9	
		12	11,6	12,1	12,0	12,5	12,9	8,7	9,1	9,5	9,8	10,7	5,2	5,5	6,2	6,5	7,8	
8		4	11,6	12,2	12,1	12,6	13,0	8,8	9,2	9,5	10,0	10,8	5,3	5,7	6,3	6,6	7,9	
		6	11,6	12,1	12,1	12,5	12,9	8,7	9,0	9,5	9,8	10,7	5,2	5,5	6,2	6,5	7,8	
		8	11,6	12,0	12,0	12,4	12,9	8,6	8,9	9,4	9,7	10,7	5,1	5,4	6,2	6,4	7,7	
		12	11,5	11,9	12,0	12,3	12,8	8,6	8,8	9,4	9,6	10,6	5,0	5,3	6,1	6,3	7,6	
12		4	11,6	12,1	12,0	12,5	12,9	8,7	9,1	9,5	9,9	10,8	5,2	5,6	6,2	6,5	7,8	
		6	11,6	12,0	12,0	12,4	12,9	8,6	8,9	9,4	9,7	10,7	5,1	5,4	6,2	6,4	7,7	
		8	11,5	11,9	12,0	12,3	12,8	8,6	8,8	9,4	9,6	10,6	5,1	5,3	6,1	6,3	7,6	
Изменения от положението на наблюдателя																		
S=1,0*H		+0,5/-1,0					+0,5/-1,0					+0,5/-1,0						
S=1,5*H		+1,2/-2,4					+1,2/-2,4					+1,2/-2,4						
S=2,0*H		+2,6/-4,1					+2,6/-4,1					+2,5/-3,9						



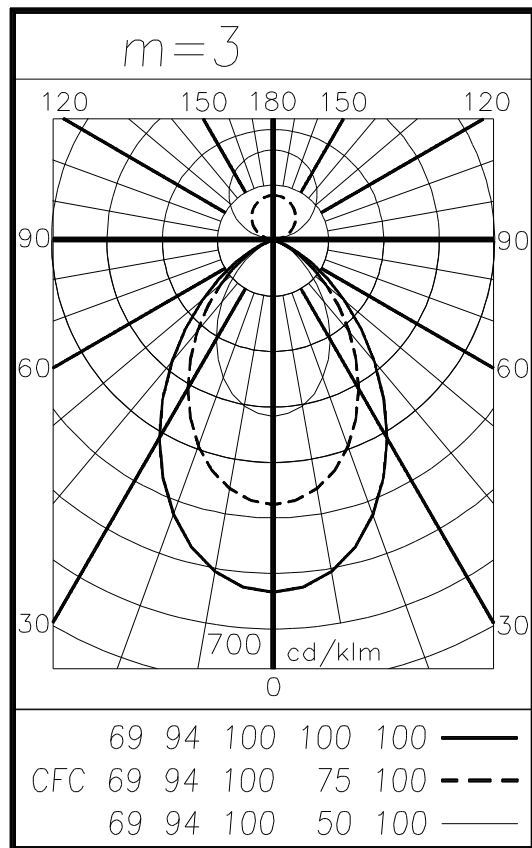
а)



б)



в)



г)

Фиг. 1.

$$UGR_{kor.} = UGR_{unkor.} + 8 \lg (F_l / 1000) \quad . (2)$$

За осветители, в които се използват лампи с известен F_l , в основната част на таблицата могат да се поставят стойностите за UGR за действителния F_l и да се избегне тази допълнителна корекция.

Дадените в основната част на таблицата $UGR_{unkor.}$ се отнасят за различни комбинации на коефициентите на отражение на тавана, стените и работната повърхност, за размери на помещенията кратни на H - разстоянието от очите на наблюдателя до равнината, в която са монтирани осветителите, при което x е размерът на помещението напречно на зрителната ос, а y - успоредно. Височината на очите над пода се приема $1,2 m$ при седнал наблюдател и $1,7 m$ - при прав.

Таблиците са съставени за хоризонтална зрителна ос на наблюдателя намиращ се по средата на x .

В долната допълнителна част на таблицата са показани вариациите на UGR при промяна на позицията на наблюдателя за различни разстояния S между осветителите.

В най-долната част на таблицата са дадени коригиращи коефициенти за други осветители от същия тип.

За осветители с долна светеща повърхност, светлоразпределителната крива на които може да се апроксимира с уравнението $I_a = I_0 \cos^m a$, показателят на дискомфорт UGR (при $m = 1; 1.43; 2$ и 3) може да се определи с помощта на таблица 2.

Стойността на степенния показател m се изчислява по формулата:

$$m = \frac{2p I_0}{F_E} - 1 \quad (3),$$

където I_0 е интензитетът на светлината отчетен от светлоразпределителната крива на осветителя за $\alpha=0^\circ$, **cd**;

F_E - потокът, който осветителят излъчва в долната полусфера, определен по светлоразпределителната му крива, **lm**.

При известен код на CIE (CFC: N1 N2 N3 N4 N5) за осветителя m може да се определи чрез израза

$$m = \frac{20 p I_0}{N4 N5} - 1 . \quad (4)$$

Таблицата е разработена за осветители с коефициент на полезно действие $\eta=1$, светлоразпределителните криви на които са показани на фиг. 1, с директна светлина ($N4=100$) и за осветители, които излъчват част от светлинния поток в горната полусфера (25% - $N4=75$; 50% - $N4=50$).

Стойността на показателя на дискомфорт се определя чрез уравнението

$$UGR = UGR_{unkor.} + 8 \lg (h_o F_{lo} / 1000) - 8 \lg (4 A), \quad (5)$$

където h_o е коефициентът на полезно действие на осветителя;

F_{lo} - действителния светлинен поток на лампите в осветителя, **lm**;

A - площта на светещата повърхност на осветителя, **m²**.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 .“Справочная книга по светотехнике” под редакцией Ю.Б.Айзенберга. Москва, Энергоатомиздат, 1995.
2. CIE Technical Report: Discomfort Glare in Interior Lighting. 1994.

Доц.д-р инж. Георги Диканаров
 Технически университет-София
 E-mail: dikanar@vmei.acad.bg